

# 有明粘土地盤を事例にした提案沈下予測法 と既往予測法との適用性の検討

棚 橋 由 彦\*      ・ 馬 渡 俊 裕\*\*  
後 藤 恵之輔\*      ・ 安 原 一 哉\*\*\*  
河 野 浩 幸\*\*\*\*

## On the applicability of some settlement prediction methods to the soft Ariake clay ground

by

Yoshihiko TANABASHI\*, Toshihiro MAWATARI\*\*, Keinosuke GOTOH\*,  
Kazuya YASUHARA\*\*\* and Hiroyuki KOUNO\*\*\*\*

The Ariake clay, i. e. the soft marine alluvial clay, is sedimented along the Ariake Sea, especially in the Saga plain, Kyushu, Japan. It is well-known as one of the most problematic soils in Japan, because of its high sensitivity and remarkable secondary compression. Therefore, an established method for settlement prediction is necessary as well as developing a countermeasure to control long-term settlement.

This paper describes three case histories on the settlement of the Ariake clay ground. The main purpose of this paper is to compare the observed settlements with calculated settlements by six prediction methods proposed by Miyagawa, Hoshino, Asaoka, Terzaghi, Yasuhara and Tanabashi.

The applicabilities and the features of each prediction method have been clarified from comparison of predicted results with observed settlements.

### 1. ま え が き

有明海を中心に堆積する海成粘土（有明粘土）は、圧縮性が大きく支持力が小さい二次圧密が顕著な軟弱地盤である。よって、盛土築造による地盤変形が著しく、沈下も長期に亘り、土木・建築構造物などに被害を与えるため、二次圧密を考慮した沈下予測は極めて重要である。本報告では、盛土による有明粘土地盤（鹿島、白石、東与賀の3地盤）の沈下計測事例に、提案事前予測法と既往の沈下予測法（事後予測法：双曲線

法<sup>4)</sup>、星埜法<sup>4)</sup>、浅岡法<sup>5)</sup>、事前予測法：慣用法<sup>4)</sup>、安原法<sup>6)</sup>）を適用する。それぞれの予測法による予測値と実測値との比較から、それぞれの特徴、有明粘土への適用性、問題点等を吟味する。

粘性土は、ひずみの応力履歴依存性と時間依存性の顕著な材料である。したがって、粘性土の土質工学上の諸問題の解決には、特に時間依存性を考慮した構成則（応力ひずみ時間関係）の確立が不可欠である。棚橋は、二次圧密はグイレンシーの時間依存性に起因

平成6年4月28日受理

\* 社会開発工学科

\*\* 若築建設㈱

\*\*\* 茨城大学

\*\*\*\* 不動建設㈱

するとの立場から、既往の研究で明らかにされてきた粘性土の力学的諸特性をできるだけ採り入れた構成則を確立し、既に既存 FEM 増分法プログラムに適用可能な形式でそれを提案している<sup>1)</sup>。また、本提案式を用いて、有明粘土地盤上の交通荷重を受ける低盛土の沈下予測<sup>2)</sup>、長期残留沈下の予測<sup>3)</sup>を既に行っている。

## 2. 提案予測法

構成則（弾塑性応力ひずみ時間関係）の定式化の過程は文献(1)に詳しいので、ここでは結果のみを再録する。

ひずみを弾性成分と時間項を考慮した塑性成分に分けると、体積ひずみ増分  $dv$ 、正八面体せん断ひずみ増分  $d\gamma$  は、次式で表せる。

$$\begin{bmatrix} dv \\ d\gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dv \\ d\gamma \end{bmatrix}^e + \begin{bmatrix} dv \\ d\gamma \end{bmatrix}^{vp} = \begin{bmatrix} dv_c \\ d\gamma_c \end{bmatrix}^e + \begin{bmatrix} dv_d \\ d\gamma_d \end{bmatrix}^e + \begin{bmatrix} dv_c \\ d\gamma_c \end{bmatrix}^{vp} + \begin{bmatrix} dv_d \\ d\gamma_d \end{bmatrix}^{vp} \quad (1)$$

ここに、下サフィックス  $c, d$  はそれぞれ平均主応力増分  $dp$ 、正八面体せん断応力増分  $dq$  により生じるひずみ増分を意味し、上サフィックス  $e, vp$  はそれぞれひずみの弾性・時間項を考慮した塑性成分（以下、塑性成分と略称）を意味する。 $d\gamma_c^e, d\gamma_d^{vp}$  を neglect すれば、正八面体増分関係は式(2)で与えられる。

$$\begin{bmatrix} dv \\ d\gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_c & S_d \\ 0 & S_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dp \\ dq \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S_c^{vp} & S_d^{vp} \\ 0 & S_s^{vp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dp \\ dq \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_c & S_d \\ 0 & S_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dp \\ dq \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここに、 $S_c, S_d, S_s$  はそれぞれ圧縮による体積ひずみ  $v_c$ 、ダイレタンシー  $v_d$ 、正八面体せん断ひずみ  $\gamma_d$  各増分の生じやすさを示す係数であり、サフィックス  $e$  はそのうちの弾性成分、 $vp$  は塑性成分に関する係数を意味する。

主応力増分軸方向に直交座標  $xyz$  をとった場合の弾塑性応力ひずみ時間関係は、式(3)で与えられる。

$$\begin{bmatrix} d\epsilon_x \\ d\epsilon_y \\ d\epsilon_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{23} \\ C_{31} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{12} & C_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\sigma_x \\ d\sigma_y \\ d\sigma_z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} d\gamma_{yz} \\ d\gamma_{zx} \\ d\gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(C_{22}-C_{23}) & 0 & 0 \\ 0 & 2(C_{33}-C_{31}) & 0 \\ 0 & 0 & 2(C_{11}-C_{12}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\tau_{yz} \\ d\tau_{zx} \\ d\tau_{xy} \end{bmatrix} \quad (3)^1$$

$$C_{11} = \{(S_c + 3S_s) + \sqrt{2}S_d\}/9$$

$$C_{22} = (S_c + 3S_s)/9$$

$$C_{33} = \{(S_c + 3S_s) - \sqrt{2}S_d\}/9$$

$$C_{23} = \{(2S_c - 3S_s) - \sqrt{2}S_d\}/18$$

$$C_{31} = \{(2S_c - 3S_s) + \sqrt{2}S_d\}/18$$

$$C_{12} = (2S_c - 3S_s)/18 \quad (3)^2$$

$$S_c = S_c^e + S_c^{vp} = \frac{1}{1+e} \times \frac{1}{p} \{k + (\lambda - k)(t/t_{fc})^{m_c}\}$$

$$S_d = S_d^e + S_d^{vp} = \frac{1}{1+e} \times \frac{1}{p} \{0 + \mu(t/t_{fd})^{1-m_d}\}$$

$$S_s = S_s^e + S_s^{vp} = \frac{1}{p} \left\{ \nu + \frac{\mu}{1+e} \times \frac{N_0}{M_0 - \eta} (t/t_{fs})^{1-m_s} \right\} \quad (3)^3$$

上式中、 $\eta$  は正八面体応力比であり次式で与えられる。

$$\eta = q/p = \frac{1}{3} \{(\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + (\sigma_x - \sigma_y)^2 + 6(\tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 + \tau_{xy}^2)\}^{1/2} / \{(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3\} \quad (4)$$

また、間隙比  $e$  は次の漸化式に従う。

$$e_i = e_{i-1} - dv(1 + e_{i-1}) \quad (5)$$

なお、式(3)中の  $\lambda, k, \mu, \nu, M_0, N_0$  は弾塑性パラメータであり、 $m_c, m_d, m_s$  は時間パラメーターである。また  $t_{fc}, t_{fd}, t_{fs}$  は次式で表される。

$$t_{fc} = \left( \frac{H_e}{H^*} \right)^{n_c} \times t^*, \quad t_{fd} = \left( \frac{H_e}{H^*} \right)^{n_d} \times t^*$$

$$t_{fs} = \left( \frac{H_e}{H^*} \right)^{n_s} \times t^* \quad (6)$$

ここに、 $H^*$  は供試体の有効排水距離、 $H_e$  は各要素の有効排水距離、 $t^*$  は室内試験における一荷重増分当たりの測定時間である。また  $n_c, n_d, n_s$  は寸法効果パラメーターである。

## 3. 既往予測法

採用した既往予測法の概要を以下に紹介する。ただし、慣用法（テルツァギ）は周知なので省略する。

### 3. 1 双曲線法

宮川は、盛土が終了して以降の沈下は双曲線の形をとるとし、次式を与えている。

$$S_t = S_0 + \frac{t}{a + bt}$$

$$S_f = S_0 + \frac{1}{b} \quad (7)$$

ここに、

$S_t$ : 任意時刻  $t$  における沈下量

$S_f$ : 最終沈下量

$S_0$ : 初期沈下量 (盛土施工完了時の沈下量)

$a, b$ : 実測値のフィッティングより得られるパラメーター

時間とともに沈下  $S_t$  の観測数は増えるが、実測データを整理すると、必ずしも  $t=0$  のとき  $S_t=0$  とはならない。そこで、任意の時間を  $t=0$  と仮想し、その時の  $S_t$  を実測データから  $S_0$  と決める。次いで  $t/(S_t-S_0)=a+bt$  の関係を利用して、 $t/(S_t-S_0)$  と  $t$  の座標上に観測点をプロットし、最小二乗法により  $a, b$  を決める。

### 3. 2 星埜法

星埜は、経過時間  $t$  による沈下量  $S_t$  は、瞬間沈下  $S_i$  と  $\sqrt{t}$  に比例する時間沈下の和よりなるとして、次式を提案している。

$$S_t = S_i + \frac{Ak\sqrt{t}}{\sqrt{1+k^2t}} \quad (8)$$

ここに、 $A, k$ : 実測値のフィッティングにより求まるパラメーター

式(8)を変形すると

$$\frac{t}{(S_t-S_i)^2} = \frac{1}{A^2k^2} + \frac{1}{A^2t} \quad (9)$$

式(9)より、 $t/(S_t-S_i)^2$  と  $t$  の座標上に観測点をプロットし、最小二乗法により  $A, k$  が求まる。

### 3. 3 浅岡法

浅岡は、任意の観測点  $t$  に対する実測沈下量  $\rho_j$  と、1つ前の観測点  $t_{-1}$  に対する実測沈下量  $\rho_{j-1}$ 、2つ前の観測点  $t_{-2}$  に対する実測沈下量  $\rho_{j-2}$  の関係を、次式で与えている。

$$\rho_j = \beta_0 + \beta_1 \times \rho_{j-1} + \beta_2 \times \rho_{j-2} \quad (10)$$

$t-t_{-1}=t_{-1}-t_{-2}=\Delta t$  とするとき、お互いが  $\Delta t$  離れた関係にある  $(\rho_{j-2}, \rho_{j-1}, \rho_j)$  を順次時間をずらしてデータの組を探索する。次に、二階モデルについて重回帰計算を行う。 $X=\rho_{j-2}$ 、 $Y=\rho_{j-1}$ 、 $Z=\rho_j$  と置き、 $S_X^2$  を  $X$  の分散、 $S_{XY}$  を  $X$  と  $Y$  の共分散等とすれば、

$$\begin{aligned} \beta_1 &= (S_X^2 S_{YZ} - S_{XY} S_{ZX}) / (S_X^2 S_Y^2 - S_{XY}^2) \\ \beta_2 &= (S_{ZX} S_Y^2 - S_{XY} S_{YZ}) / (S_X^2 S_Y^2 - S_{XY}^2) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\beta_0 = Z - \beta_1 Y - \beta_2 X$$

から、 $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  が一度に求まる。最終沈下量は、式(12)により求まる。

$$\rho_f = \beta_0 / (1 - \beta_1 - \beta_2) \quad (12)$$

計算のチェックの方法として、 $R^2 - \beta_1 R - \beta_2 = 0$  の根  $R_1, R_2$  (特性根) を用いて、これらが 0 と 1 の間にあること (圧密固有値  $\lambda_1 = \ln R_1 / \Delta t$ ,  $\lambda_2 = \ln R_2 / \Delta t$  が共に負の値であること) を確認する。このときに予測が成功したと判断する。また、実測値の平滑化を行い、 $(\rho_{j-2}, \rho_{j-1}, \rho_j)$  を探索し、解析を行うことも可能である。

### 3. 4 安原法

安原は、一次圧密過程における二次圧密も含めた形での一次元圧密沈下計算法を提案している。Bjerrum の沈下概念によれば、粘土地盤の沈下ひずみ  $\epsilon_v$  は、即時圧縮ひずみ  $\epsilon_{vi}$  と遅延圧縮ひずみ  $\epsilon_{vd}$  との重ね合わせによって、次式のように表される。

$$\Delta \epsilon_v = \Delta \epsilon_{vi} + \Delta \epsilon_{vd} \quad (13)$$

このうち、 $\Delta \epsilon_{vi}$  は体積圧縮係数  $m_v$  を用いて

$$\Delta \epsilon_{vi} = m_v \Delta \sigma'_v = m_v (\Delta \sigma_v - \Delta u) \quad (14)$$

と表すことができる。一方、遅延ひずみ  $\epsilon_{vd}$  はみかけの増加応力  $\Delta \sigma'_{vd}$  によって

$$\Delta \epsilon_{vd} = m_v \Delta \sigma'_{vd} \quad (15)$$

と表すことにする。この  $\Delta \sigma'_{vd}$  は初期時間  $t_0$  から生じる二次圧密によるみかけの増加応力であり、次式によって与えられる。

$$\Delta \sigma'_{vd} = \Delta \sigma_v \left\{ \left( \frac{t_1}{t_0} \right)^{C_{al}/C_c} - 1 \right\} \quad (16)$$

結局、沈下に寄与するひずみは次のようになる。

$$\Delta \epsilon_v = m_v \left[ \Delta \sigma_v U_\sigma + \Delta \sigma_v \left\{ \left( \frac{t_1}{t_0} \right)^{C_{al}/C_c} - 1 \right\} \right] \quad (17)$$

ここに、

$t_1$ : 経過時間 (day)

$t_0$ : 単位時間 (1day)

$C_v$ : 圧密係数 ( $\text{cm}^2/\text{day}$ )

$C_c$ : 圧縮指数

$m_v$ : 体積圧縮係数 ( $\text{cm}^2/\text{kgf}$ )

$C_\alpha$ : 二次圧縮指数

$U_\sigma$ : 圧密度

#### 4. 沈下計測事例の概要

##### 4. 1 鹿島地区

鹿島地区の盛土断面図を Fig. 1 に、土質データを Table 1 に示す。

本構造物（防波堤）は、Fig. 1 中の石積・盛土 1 が 1960 年 4 月から 250 日の期間で施工され、11 年間放置された後、捨石・盛土 2 が 1971 年 4 月から 365 日で施工されたものである。また Table 1 中の土質データは、処女地盤のそれである。

##### 4. 2 白石地区

白石地区の盛土断面図を Fig. 2 に、土質データを Table 2 に示す。

本構造物（河川堤防）は、Fig. 2 中の盛土 1 が 1990 年 1 月 20 日から 21 日間、盛土 2 が 1991 年 1 月 14 日から 14 日間で施工されたものである。Table 2 は、盛土 1 施工前の中央下における土質データである。

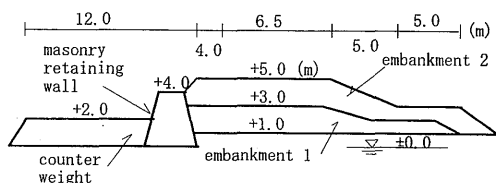


Fig. 1 Cross section of the embankment at KASHIMA.

Table 1 Given soil parameters at KASHIMA

Layer's No.	G.L. (m)	Thick- ness (m)	Consolidation yield stress $P_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Wet densit $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	Initial void ratio $e_0$	Com- pression index $C_c$	Coefficient of consoli- dation $C_\alpha$ (cm <sup>2</sup> /d)
1	+1.0 ~ -2.5	3.5	0.25	1.30	3.90	1.50	100
2	-2.5 ~ -6.0	3.5	0.40	1.40	3.15	1.50	100
3	-6.0 ~ -9.0	3.0	0.55	1.43	2.75	1.25	100
4	-9.0 ~ -12.0	3.0	0.70	1.50	2.15	1.10	100
5	-12.0 ~ -17.0	5.0	0.80	1.45	2.50	1.10	100

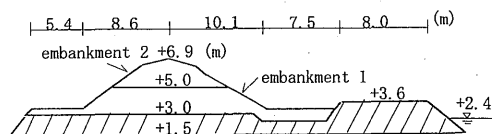


Fig. 2 Cross section of the embankment at SHIROISHI.

##### 4. 3 東与賀地区

東与賀地区の盛土断面図を Fig. 3 に、土質データを Table 3 に示す。

本構造物（防波堤）は、Fig. 3 中の盛土 1 が 1988 年 6 月 10 日から 55 日間、波除工が 1988 年 11 月 1 日から 49 日間で施工されたものである。Table 3 中の土質データは、盛土 1 中央下における盛土 1 施工前のものである。また Table 3 中の第 5 層は、シルト混じり砂層で砂分が約 70% である。したがって、この層を排水層とみなして、沈下計算を行っている。

Table 2 Given soil parameters at SHIROISHI

Layer's No.	G.L. (m)	Thick- ness (m)	Consolidation yield stress $P_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Wet densit $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	Initial void ratio $e_0$	Com- pression index $C_c$	Coefficient of consoli- dation $C_\alpha$ (cm <sup>2</sup> /d)
1	+1.5 ~ -2.4	3.9	0.37	1.36	3.46	1.55	334
2	-2.4 ~ -6.4	4.0	0.43	1.33	3.88	1.80	93
3	-6.4 ~ -10.4	4.0	0.75	1.42	2.93	1.61	524
4	-10.4 ~ -13.9	3.5	1.06	1.46	2.57	1.29	437

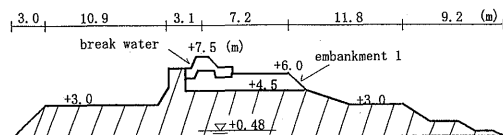


Fig. 3 Cross section of the embankment at HIGASHIYOGA.

Table 3 Given soil parameters at HIGASHIYOGA

Layer's No.	G.L. (m)	Thick- ness (m)	Consolidation yield stress $P_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Wet densit $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	Initial void ratio $e_0$	Com- pression index $C_c$	Coefficient of consoli- dation $C_\alpha$ (cm <sup>2</sup> /d)
1	0.0 ~ -2.0	2.0	1.45	1.630	2.096	0.78	922
2	-2.0 ~ -4.0	2.0	0.88	1.473	2.092	0.73	86
3	-4.0 ~ -6.1	2.1	0.66	1.677	1.874	0.50	1267
4	-6.1 ~ -8.2	2.1	1.15	1.519	1.646	0.47	1224
5	-8.2 ~ -9.3	1.1	0.71	1.694	2.205	0.89	112
6	-9.3 ~ -14.8	5.5	1.30	1.468	2.610	1.26	338

#### 5. 予測結果

事後予測法では、最終構造物立上げ後の実測データ

を用いて、その沈下を予測する。一方、事前予測法では、1段目盛土から沈下を予測するため、解析結果は事後・事前に分けて整理する。

## 5. 1 事後予測法

### 5. 1. 1 事後予測法における予測期間とその精度

事後予測法では、どの予測法も、予測に用いる期間を長く取るほど予測精度は増す。しかし、実用的には、比較的短い期間で精度良く予測できる方法が有利である。そこで、白石地区を例に、予測期間を下記のように設定し、その期間と予測精度を比較する。

短期：373～544日（データ個数：17個）

中期：373～750日（データ個数：27個）

長期：373～945日（データ個数：34個）

Fig. 4 に双曲線法と浅岡法の予測結果を、Fig. 5 に星筈法の予測結果を示す。

双曲線法、星筈法ともに、予測期間が長くなるほど、最終沈下量は、大きくなる。双曲線法は、予測期間の長短にかかわらず、常に実測の沈下量より過小に評価する傾向がみられる (Fig. 4 参照)。

浅岡法は、実測値を平滑化し、多数の実測値を設定して、予測を行っているが、短期・中期では特性根の問題で予測不能となった。長期の結果は実測値の対応は良い。

星筈法は、短期間を除いて、中・長期のデータを用いた予測は、その後の沈下傾向と対応が良い。

これらの結果 (Fig. 4, Fig. 5) を総合判断すると、星筈法が、有明粘土地盤では、短期間のデータで比較的精度よく事後予測を行え、最適といえる。

### 5. 1. 2 事後予測法による各事例の予測結果

#### (1) 鹿島地区

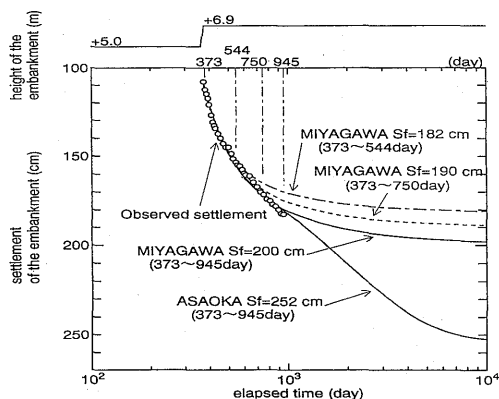


Fig. 4 Observed and calculated settlements by MIYAGAWA and ASAOKA at SHIROISHI.

Table 4 は、Fig. 1 中の盛土 2 施工開始後 1700 日までの実測データを基に、各予測法におけるパラメータを求めたものである。ただし、浅岡法では、特性根  $R$  が条件を満たさず、沈下予測は不能となった。予測結果は、Fig. 6 に示す。

$t=1700$  日までの実測値との対応は、両予測法とも非常に良いが、それ以降では双曲線法がやや過小に、星筈法がやや過大に沈下を予測した。式 (7) (8) から明らかのように、双曲線法は  $t$  に比例して、星筈法は  $\sqrt{t}$  に比例して沈下が予測されるため、このような結果が得られたものといえる。実測値との対応は、双曲線法く

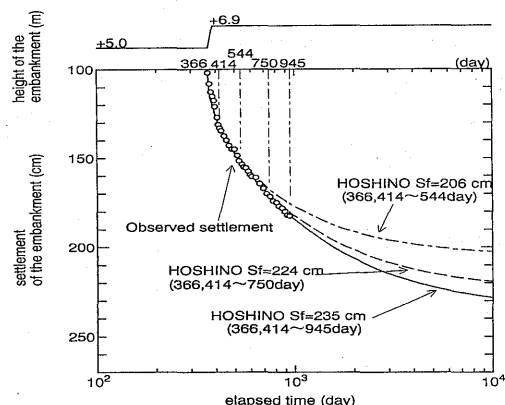


Fig. 5 Observed and calculated settlements by HOSHINO at SHIROISHI.

Table 4 Determined parameters at KASHIMA

MIYAGAWA	$a$	$b$	$S_0$
	8.98	0.02	205.7
HOSHINO	$A$	$k$	$S_i$
	83.1	0.025	185.8

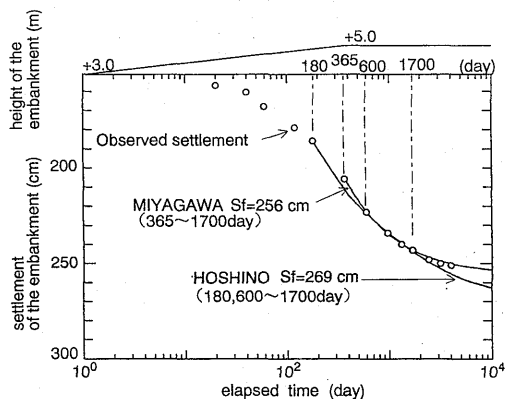


Fig. 6 Observed and calculated settlements at KASHIMA.

実測値<星埜法という結果を得た。

## (2) 白石地区

Table 5 は、Fig. 2 中の盛土施工開始後359~945日までの実測データを基に、各予測法におけるパラメーターを求めたものである。予測結果は Fig. 7 に示す。

沈下予測曲線は、双曲線法<星埜法<浅岡法という関係にあり、鹿島地区と同様の結果を得た。双曲線法は、 $t=945$ 日以降沈下が収束に向かい実測との対応は良くない。3手法の内、星埜法が実測値との対応が最も良いといえる。

## (3) 東与賀地区

Table 6 は、Fig. 3 中の盛土施工開始後629日までの実測データを基に、各予測法におけるパラメーターを求めたものである。ただし浅岡法では、特性根  $R$  が条件を満たさず、沈下予測は不能となった。また、星埜法では、施工期間の中間点 (Fig. 8 中、 $t=165$ 日) を原点として予測を行った。しかし、 $t=165\sim629$ 日の実測

データ全てを用いた場合、実測データとの対応が悪い。ため、 $t=190\sim345$ 日のデータは用いずに予測を行っている。予測結果は、Fig. 8 に示す。

白石地区と同様の結果を得た、やはり星埜法の方が、実測との対応が良いといえる。

## 5. 2 事前予測法

慣用法、安原法は、 $C_{vt} = \alpha C_{vr}$  ( $C_{vt}$ ,  $C_{vr}$ :それぞれフィールド、室内試験から求めた圧密係数) とおき、 $\alpha=1, 5, 10$ の3ケースの予測を行った。

### (1) 鹿島地区

鹿島地区の予測結果を Fig. 9 に示す。ただし実測値との対応から、慣用法では $\alpha=10$ 、安原法では $\alpha=5$ の場合の解析結果のみを示す。

Fig. 9 を見ると、慣用法、安原法ともに予測結果は過大である。これは、過圧密状態にある鹿島地区に対して、 $C_c$ 法を用いて計算を行ったためである。慣用法

Table 5 Determined parameters at SHIROISHI

MIYAGAWA	$a$	$b$	$S_0$
	1.73	0.011	108
HOSHINO	$A$	$k$	$S_i$
	132.6	0.0315	102

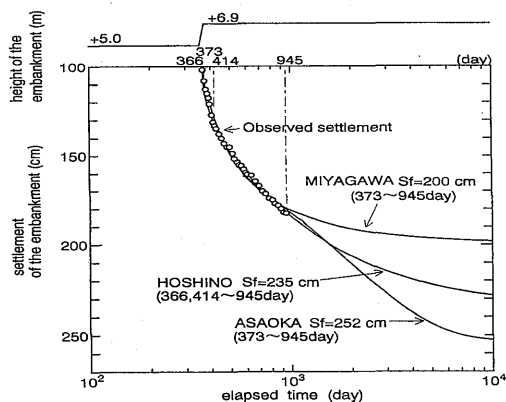


Fig. 7 Observed and calculated settlements at SHIROISHI.

Table 6 Determined parameters at HIGASHI-YOGA

MIYAGAWA	$a$	$b$	$S_0$
	14.79	0.057	11.55
HOSHINO	$A$	$k$	$S_i$
	28.34	0.0246	9.27

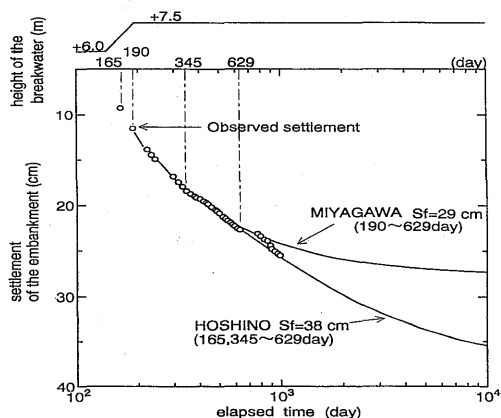


Fig. 8 Observed and calculated settlements at HIGASHIYOGA.

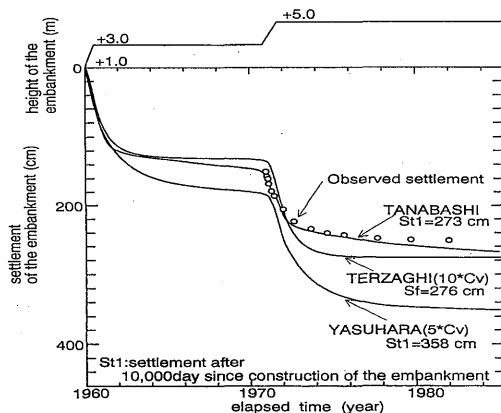


Fig. 9 Observed and calculated settlements at KASHIMA.

は1974年以降沈下が収束しており、実測値との対応が悪い。慣用法をベースに遅延ひずみとして二次圧密を考慮する安原法は、慣用法に比べて二次圧密の現象を良く表している。3手法の内では、提案法が実測と最も対応が良いという結果を得た。

## (2) 白石地区

慣用法・安原法では、 $\alpha=1$ で沈下予測を行った場合、沈下を過小に評価し、実測との対応は悪い。事前に予測を行う上で、この $\alpha$ の設定は重要である。

白石地区では、解析の結果、慣用法は $\alpha=10$ 、安原法は $\alpha=5$ の場合が最も実測との対応が良かった。Fig. 10にこの結果を示す。また、実際に $\alpha$ 値によって、どの様に沈下曲線に相違があるのか、安原法による $\alpha=1$ 、10の解析結果もFig. 10に示す。また、提案法の入力パラメーターをTable 7, 8に示す。

Fig. 10 から、実測値は、慣用法 ( $\alpha=10$ ) と安原法 ( $\alpha=5$ ) に挟まれており、両法の予測精度はかなり良い。(計算はmv法を用いて行っている)

ただし、この結果は、鹿島地区に比べて非常に短期なものである。提案法は、盛土立上げ初期の沈下が過大となっているが、その後の沈下の傾向は良くとらえている。この結果から、提案法は、盛土施工時に生じ

るせん断変形を過大に予測する傾向がある。

## (3) 東与賀地区

東与賀地区の予測結果をFig. 11に示す。ただし、慣用法、安原法ともに $\alpha=1$ である。

本地区の場合、旧堤の盛土厚が大きいので、粘土層に対する盛土荷重は小さくなる。また、 $C_v$ も大きいので、 $\alpha=5$ 、10もFig. 11とほぼ同じ結果を得る。したがって、慣用法・安原法は、沈下をやや過小に評価している。提案法は、白石地区と同様、初期のせん断変形を過大に予測する傾向があり、その後の圧密沈下は妥当に予測するとの結果を得た。また、本地区の土質データは、Table 3に示すように、他の2地区の土質データと大きく異なり、解析結果は単純には比較できない。

## 6. ま と め

有明粘土地盤の3つの沈下計測事例に対して、6つの予測法により、沈下予測を行った結果、次のことが明らかとなった。

事後予測では、二次圧密の顕著な有明地盤では、沈下が長期に亘り継続するため、その予測に長期を要することが明確になった。このような地盤では、双曲線法よりも星埜法の方が、実測沈下と対応が良いという

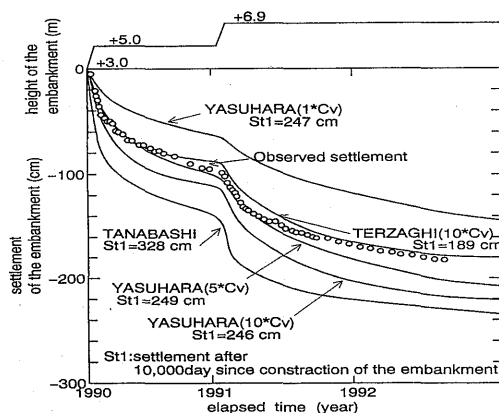


Fig. 10 Observed and calculated settlements at SHIROISHI.

Table 7 Parameters of TANABASHI Method at SHIROISHI

L ayer's No.	$C_c$	$C_s$	$\lambda$	$\kappa$
1	1.55	0.171	0.673	0.0742
2	1.80	0.198	0.781	0.0859
3	1.61	0.177	0.699	0.0768
4	1.29	0.142	0.560	0.0616

Table 8 Parameters of TANABASHI Method at SHIROISHI.

$\mu$	0.298	$m_c$	1.000
$\nu$	0.011	$m_d$	0.769
$M_0$	0.710	$m_s$	0.792
$N_0$	0.295		

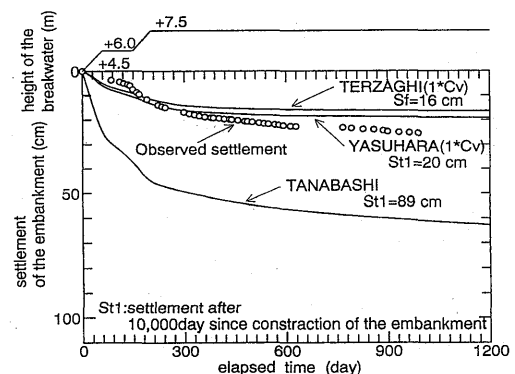


Fig. 11 Observed and calculated settlements at HIGASHIYOGA.

Table 9 Features of each prediction method

	予測手法	S <sub>r</sub> or S <sub>u</sub> (cm)			所要試験 or 所要データ	予測 期間	特 徴	問 題 点
		鹿島	白石	与賀				
事後予測	双曲線法 (宮川)	⑤256	⑤200	③ 29	実測値	短期	沈下量はかなり過小でその収束は速い	・予測期間の取り方で沈下量が異なる ・盛土完了後の予測しかできない
						長期	沈下量はやや過小で沈下はやや継続する	
	星埜法	④269	④235	② 38	実測値	短期	沈下量は過小で沈下はやや継続する	・予測期間の取り方で沈下量が異なる
						長期	沈下量は過大で沈下は長期に継続する	
							・双曲線法に比べて沈下は過大で継続する ・有明粘土地盤には適する	
	浅岡法	—	②252	—	実測値	短期	沈下は長期に継続する	・多数の実測値が必要 ・予測できない場合がある
							・他の事後予測より沈下を過大に評価する	
事前予測	慣用法 (テルツァギ)	②276	⑥189	⑤ 16	標準圧密試験		・二次圧密が考慮できない ・ $\alpha=10$ 程度が実測値と対応がよい	・C <sub>v</sub> の倍率( $\alpha$ )の事前評価が難しい ・平面ひずみの解析が困難
	安原法	①358	③249	④ 20	単一載荷圧密試験		・二次圧密が盛土立上げ初期から考慮されている ・ $\alpha=5$ 程度が実測値との対がよい(慣用法より $\alpha$ は小さい)	・C <sub>v</sub> の倍率( $\alpha$ )の事前評価が難しい ・平面ひずみの解析が困難
	提案法 (棚橋)	③273	①328	① 89	排水三軸試験		・二次圧密が考慮されている ・平面ひずみを解析できる	・簡便でない ・パラメーターが多い

S<sub>r</sub>:最終沈下量S<sub>u</sub>:盛土立上げ後10000日の沈下量

結果を得た。ただし、星埜法では、盛土立上げ初期における実測データを用いると、沈下をかなり過大に評価するため、その部分の実測データを用いず予測を行う必要があり、予測に用いる実測データの採用期間の設定に手間を要するという不便がある。

事前予測では、慣用法は、長期予測には適用できないが、比較的短期間ではC<sub>v</sub>の倍率を10倍程度にすると実測沈下と対応が良いという結果を得た。安原法は、二次圧密がよく表現されており、C<sub>v</sub>の倍率を5倍程度にすると実測沈下と対応が良いという結果を得た。提案法は、初期のせん断変形に起因する沈下を過大に予測するが、圧密に対する沈下は非常に良く表現されているという結果を得た。

まとめとして、Table 9に各予測法の特徴等を示す。

#### 参考文献

- 1) 棚橋・伊勢田・間鍋: 弾塑性応力ひずみ時間関係に基づく粘性土地盤の経時変形解析, 第36回土木学会年次学術講演概要, pp. 154-155, 1981.
- 2) Y. Tanabashi, H. Ochiai, K. Yasuhara, Y. Saitoh: Case Studies on Long-term Settlement

of Soft Clay Ground, Proc. 2nd International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Vol. III, Paper No. 3. 23, St. Louis, USA, pp. 1655-1662, 1988.

- 3) 棚橋由彦・安原一哉・斎藤芳徳: 有明粘土地盤の長期残留沈下とその予測, 土と基礎, Vol. 41, No. 2, pp.17-22, 1993.
- 4) 持永: 第7章, 圧密試験, 土質調査試験結果の解釈と適用例 第1回改訂版, 土質工学会, 1979.
- 5) 浅岡・野津: 観測的方法による圧密沈下の線形予測, 土と基礎, 41-2 (421), pp. 5-10, 1993.
- 6) 安原・安川: 単一荷重載荷圧密試験方法とその結果の解釈と適用, 特殊圧密試験に関するシンポジウム, 発表論文集, 土質工学会, pp. 101-108, 1988.